

# EUROPEAN PATENT OFFICE

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2001018822  
PUBLICATION DATE : 23-01-01

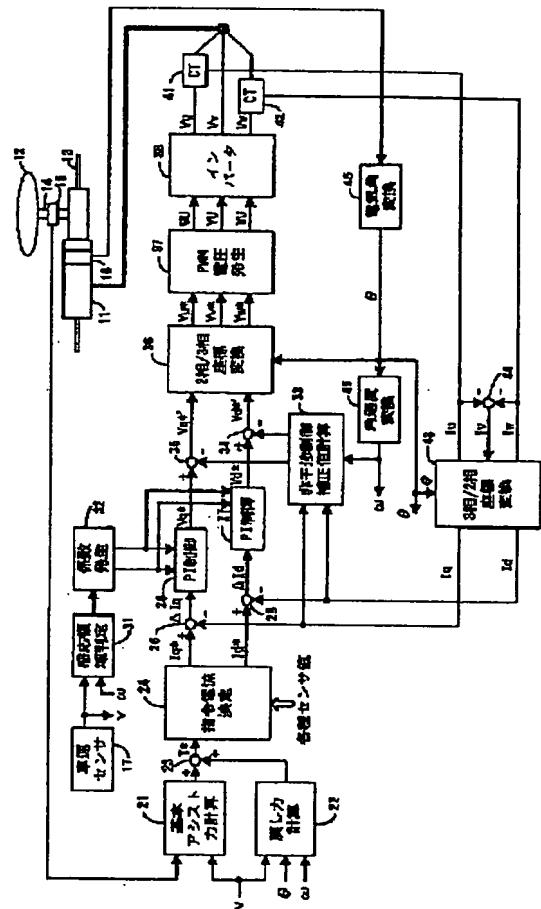
APPLICATION DATE : 08-07-99  
APPLICATION NUMBER : 11193914

APPLICANT : TOYOTA MOTOR CORP;

INVENTOR : YAMAMOTO TAKASHI;

INT.CL. : B62D 6/00 B62D 5/04 // B62D101:00  
B62D137:00

TITLE : ELECTRIC POWER STEERING  
APPARATUS FOR VEHICLE



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To maintain a steering feeling of a driver excellent without unnecessarily deteriorating a follow-up performance of a motor with respect to a control command value determined in accordance with a rotating operation of a steering wheel.

SOLUTION: A brushless motor 11 is controlled in accordance with a steering torque detected by a steering torque sensor 15. A sensitive region determination part 31 determines whether or not a running condition of a vehicle belongs to a sensitive region (a region in which the running condition is high speed running and in a low steering speed time, and a driver feels a steering feeling sensitively) based on a vehicle speed and a steering speed. Based on the determination result, a modification of a control mode of the brushless motor 11, such as, the change of a control gain, or the changing over of a presence or an absence of correction by a non-interacting control correction value or a pulsation torque correction value, is carried out.

COPYRIGHT: (C)2001,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-18822

(P2001-18822A)

(43) 公開日 平成13年1月23日 (2001.1.23)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームコード* (参考)
B 6 2 D 6/00		B 6 2 D 6/00	3 D 0 3 2
5/04		5/04	3 D 0 3 3
// B 6 2 D 101:00			
137:00			

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平11-193914

(22) 出願日 平成11年7月8日 (1999.7.8)

(71) 出願人 000003207

トヨタ自動車株式会社

愛知県豊田市トヨタ町1番地

(72) 発明者 山本 貴史

愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

(74) 代理人 100088971

弁理士 大庭 咲夫

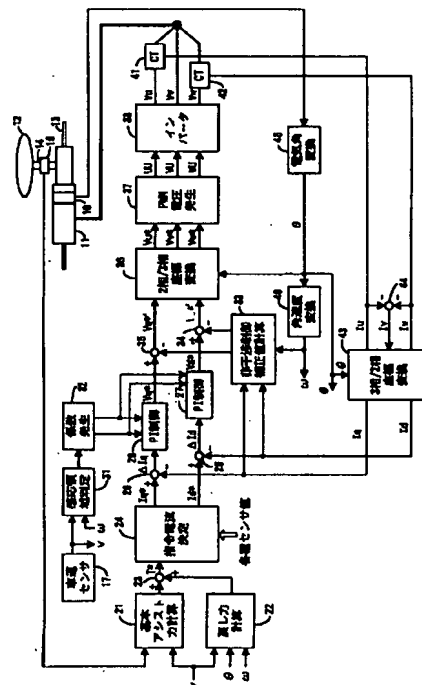
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 車両の電動パワーステアリング装置

(57) 【要約】

【課題】 電動パワーステアリング装置において、操舵ハンドルの回動操作に応じて決定された制御指令値に対するモータの追従性を不必要に悪化させることなく、運転者の操舵フィーリングを良好に保つ。

【解決手段】 ブラシレスモータ11は、操舵トルクセンサ15によって検出された操舵トルクに応じてサーボ制御される。感応領域判定部31は、車速及び操舵速度に基づいて車両の走行状態が感応領域（高速走行かつ低操舵速度時であって運転者が操舵フィーリングを鋭敏に感じる領域）に属するか否かを判定する。この判定結果により、制御ゲインを変更したり、非干渉制御補正値又は脈動トルク補正値による補正の有無を切換えたりするなど、ブラシレスモータ11の制御態様が変更される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】操舵ハンドルの回動操作に対してアシスト力を付与する電動モータと、

前記操舵ハンドルの回動操作に応じて前記電動モータの作動を制御するための制御指令値を決定する制御指令値決定手段と、

電動モータの作動状態を検出する状態検出手段と、

前記検出された電動モータの作動状態をフィードバックして電動モータの作動を前記決定された制御指令値に応じた状態に制御するモータ制御手段とを備えた車両の電動パワーステアリング装置において、

車両の走行状態が所定の領域に属するか否かを判定する判定手段と、

前記判定手段による判定に応じて前記モータ制御手段による制御態様を変更する制御態様変更手段とを設けたことを特徴とする車両の電動パワーステアリング装置。

【請求項2】前記請求項1に記載の車両の電動パワーステアリング装置において、前記所定の領域は、運転者が操舵フィーリングを鋭敏に感じる領域であり、前記判定手段は、車速及び操舵ハンドルの回動速度に応じて車両の走行状態が前記所定の領域に属するか否かを判定するものである車両の電動パワーステアリング装置。

【請求項3】前記請求項1又は2に記載した車両の電動パワーステアリング装置において、前記制御態様変更手段は、前記判定手段による判定に応じて前記モータ制御手段の制御ゲインを変更するものである車両の電動パワーステアリング装置。

【請求項4】前記請求項1又は2に記載した車両の電動パワーステアリング装置において、前記制御態様変更手段は、前記判定手段による判定に応じて電動モータに対する非干渉制御補正值による補正の有無を制御するものである車両の電動パワーステアリング装置。

【請求項5】前記請求項1又は2に記載した車両の電動パワーステアリング装置において、前記制御態様変更手段は、前記判定手段による判定に応じて電動モータに対する脈動トルク補正值による補正の有無を制御するものである車両の電動パワーステアリング装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、操舵ハンドルの操舵操作を電動モータの回動によりアシストする車両の電動パワーステアリング装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来、この種の装置、例えば特開平7-329799号公報に示されているように、操舵ハンドルの回動操作に応じて電動モータの作動を制御するための制御指令値を決定するとともに、電動モータの作動状態を検出し、前記検出された電動モータの作動状態をフィードバックして電動モータの作動を前記決定された制御指令値に応じた状態に制御するようにしている。ま

た、この装置においては、高周波ノイズを除去する減衰器又はローパスフィルタを電動モータの作動状態のフィードバック経路に挿入して、同ノイズが電動モータの作動に与える影響をなくすようにしている。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上記従来の装置にあっては、操舵フィーリングに対する考慮がなされていないので、車両が高速走行状態にあって操舵ハンドルがゆっくり回動される場合、すなわち運転者が操舵フィーリングを鋭敏に感じる領域でも、他の場合と同様な電動モータのフィードバック制御を行うと、制御指令値に対する電動モータの追従性を重視するあまり、高周波ノイズなどの影響により操舵ハンドルの回動操作に対するアシストトルクが大きく変動して操舵フィーリングが悪化したり、電動モータの回転角及び角速度の検出精度の悪化により、非干渉制御補正值が外乱となって同モータの制御精度が悪化するとともに操舵フィーリングが悪化したりするという問題がある。また、常時、前記高周波ノイズなどの影響を除去するように制御ゲインを小さくしたり、脈動トルクを除去するための複雑な演算を伴う制御を行っている、制御指令値に対する電動モータの追従性が悪化するという問題もある。

## 【0004】

【発明の概略】本発明は、上記問題に対処するためになされたもので、その目的は、操舵ハンドルの回動操作に応じて決定された制御指令値に対する電動モータの追従性を不必要に悪化させることなく、運転者の操舵フィーリングを良好に保つようにした電動パワーステアリング装置を提供することにある。

【0005】前記目的を達成するために、本発明の構成上の特徴は、操舵ハンドルの回動操作に対してアシスト力を付与する電動モータと、操舵ハンドルの回動操作に応じて電動モータの作動を制御するための制御指令値を決定する制御指令値決定手段と、電動モータの作動状態を検出する状態検出手段と、前記検出された電動モータの作動状態をフィードバックして電動モータの作動を前記決定された制御指令値に応じた状態に制御するモータ制御手段とを備えた車両の電動パワーステアリング装置において、車両の走行状態が所定の領域に属するか否かを判定する判定手段と、判定手段による判定に応じてモータ制御手段による制御態様を変更する制御態様変更手段とを設けたことにある。

【0006】この場合、例えば、前記所定の領域は、運転者が操舵フィーリングを鋭敏に感じる領域であり、前記判定手段は車速及び操舵ハンドルの回動速度に応じて車両の走行状態が前記所定の領域に属するか否かを判定するものである。

【0007】前記のように構成した本発明においては、判定手段及び制御態様変更手段の作用により、車両の走

行状態が所定の領域(運転者にとって操舵フィーリングを鋭敏に感じる領域)に属する場合と属さない場合とで、モータ制御手段による制御態様を変更される。したがって、車両の走行状態が前記所定の領域に属する場合には運転者の操舵フィーリングを重視した制御を行い、車両の走行状態が前記所定の領域に属さない場合には前記制御指令値に対する電動モータの追従性を重視した制御を行うというように制御態様を切換えることができる。その結果、本発明によれば、操舵ハンドルの回動操作により決定された制御指令値に対する電動モータの追従性を不必要に悪化させることなく、運転者の操舵フィーリングを良好に保つことができる。

【0008】また、前記制御態様変更手段による制御態様変更の一例としては、同制御態様変更手段が、判定手段による判定に応じてモータ制御手段の制御ゲインを変更する。これによれば、車両の走行状態が前記所定の領域に属する場合には、モータ制御手段の制御ゲインを低く保つことにより、高周波ノイズなどの外乱に起因した電動モータによるアシストトルクの変動を小さくすることができ、操舵フィーリングが良好となる。一方、車両の走行状態が前記所定の領域に属さない場合には、モータ制御手段の制御ゲインを高く保つことにより、前記制御指令値に対する電動モータの追従性を良好にできる。

【0009】また、前記制御態様変更手段による制御態様変更の他の例としては、同制御態様変更手段が、判定手段による判定に応じて電動モータに対する非干渉制御補正值による補正の有無を制御する。これによれば、車両の走行状態が前記所定の領域に属する場合には、非干渉制御補正值を含めないで電動モータを制御することにより、電動モータの低速回転時における回転角及び角速度の検出精度の悪化によって非干渉制御補正值が外乱となるようなことを避けることができ、電動モータによるアシストトルクの変動による操舵フィーリングの悪化を回避できる。一方、車両の走行状態が前記所定の領域に属さない場合には、非干渉制御補正值を含めた電動モータの制御により、前記制御指令値に対する電動モータの追従性を良好にできる。

【0010】また、前記制御態様変更手段による制御態様変更の他の例としては、同制御態様変更手段が、判定手段による判定に応じて電動モータに対する脈動トルク補正值による補正の有無を制御する。これによれば、車両の走行状態が前記所定の領域に属する場合には、脈動トルク補正值を含めて電動モータを制御することにより、電動モータによる脈動トルクの発生を防止でき、電動モータによるアシストトルクの変動に起因した操舵フィーリングの悪化を回避できる。一方、車両の走行状態が前記所定の領域に属さない場合には、脈動トルク補正值を含めない電動モータの制御により、前記脈動トルク補正值の演算のための時間を節約でき、前記制御指令値に対する電動モータの追従性を良好にできる。

#### 【0011】

##### 【発明の実施の形態】a. 第1実施形態

以下、本発明の第1実施形態について図面を用いて説明すると、図1は、同実施形態に係る車両の電動パワーステアリング装置を概略的に示している。

【0012】この電動パワーステアリング装置は、電動モータとして、三相同期式永久磁石モータで構成したブラシレスモータ11を備えている。ブラシレスモータ11は、操舵ハンドル12の回動操作による前輪の操舵に対してアシスト力を付与するもので、その回転に応じて前輪を外側端にて接続するタイロッド13を軸線方向に駆動する。操舵ハンドル12に上端にて接続されるとともにタイロッド13に下端にて接続された操舵軸14には操舵トルクセンサ15が組み付けられており、同センサ15は操舵軸14に作用する操舵トルクを検出して同トルクを表す検出信号を出力する。また、ブラシレスモータ11には、同モータ11の回転角を検出するためのエンコーダにより構成された回転角センサ16が組み付けられている。回転角センサ16は、ブラシレスモータ11の回転子の回転に応じて $\pi/2$ ずつ位相の異なる2相パルス列信号と基準回転位置を表す零相パルス列信号を出力する。

【0013】ブラシレスモータ11の回転を制御するための電気制御装置は、指令トルク $T^*$ を計算するための基本アシスト力計算部21、戻し力計算部22及び演算部23を備えている。基本アシスト力計算部21は、操舵トルクセンサ15からの操舵トルク及び車速センサ17によって検出された車速 $v$ を入力し、操舵トルクの増加にしたがって増加するとともに車速 $v$ の増加にしたがって減少するアシストトルクを計算する。戻し力計算部22は、前記車速 $v$ と共に後述する回転子の電気角 $\theta$ (回転角に相当)及び角速度 $\omega$ を入力し、これらの入力値に基づいて操舵軸14の基本位置への復帰力及び同操舵軸14の回転に対する抵抗力に対応した戻しトルクを計算する。演算部23は、前記アシストトルクと戻しトルクを加算することにより指令トルク $T^*$ を計算し、指令電流決定部24に供給する。

【0014】指令電流決定部24は、前記指令トルク $T^*$ に基づいて、2相指令電流 $I_d^*$ 、 $I_q^*$ を計算する。指令電流 $I_d^*$ 、 $I_q^*$ は、ブラシレスモータ11の回転子上の永久磁石が作り出す回転磁束と同期した回転座標系において、永久磁石と同一方向のd軸及びこれに直交したq軸にそれぞれ対応するもので、これらの指令電流 $I_d^*$ 、 $I_q^*$ をそれぞれd軸及びq軸指令電流という。また、この指令電流決定部24は、各種センサによる検出値をも入力して両指令電流 $I_d^*$ 、 $I_q^*$ を補正して出力する。例えば、バッテリー電圧値を入力して、バッテリー電圧値が低い場合などに弱め磁束制御のためにd軸及びq軸指令電流 $I_d^*$ 、 $I_q^*$ を補正する。

【0015】前記補正されたd軸及びq軸指令電流 $I_d$

\*,  $I_{q*}$ は演算部25, 26に供給され、演算部25, 26は、d軸及びq軸指令電流 $I_{d*}$ ,  $I_{q*}$ からd軸及びq軸検出電流 $I_d$ ,  $I_q$ をそれぞれ減算することにより差分値 $\Delta I_d$ ,  $\Delta I_q$ を計算して、比例積分制御部(P I制御部)27, 28に供給する。比例積分制御部27, 28は、差分値 $\Delta I_d$ ,  $\Delta I_q$ を用いた下記数1, 2の演算の実行により、d軸及びq軸検出電流 $I_d$ ,  $I_q$ がd軸及びq軸指令電流 $I_{d*}$ ,  $I_{q*}$ に追従するようにd軸及びq軸指令電圧 $V_{d*}$ ,  $V_{q*}$ をそれぞれ計算する。

【0016】

【数1】  $V_{d*} = -K_p \cdot \Delta I_d + K_i \cdot \int \Delta I_d dt$

【0017】

【数2】  $V_{q*} = -K_p \cdot \Delta I_q + K_i \cdot \int \Delta I_q dt$

【0018】前記数1, 2中の係数 $K_p$ ,  $K_i$ は、係数発生部32から比例積分制御部27, 28にそれぞれ供給されるもので、感応領域判定部31の判定結果に応じてそれぞれ異なる値に設定される。感応領域判定部31は、車両が高速走行状態にあって操舵ハンドルの回動速度が「0」を含む低い領域、すなわち運転者が操舵フィーリングを鋭敏に感じる領域(以下、感応領域という)に、車両の走行状態が属しているか否かを判定するものである。この感応領域判定部31は、図2に示すような感応領域を表す車速-角速度(操舵速度)のマップ、又は同マップに対応した関数式を記憶しており、車速センサ17からの車速 $v$ 及び後述するブラシレスモータ11の角速度 $\omega$ に基づいて、車両の走行状態が感応領域に含まれているか否かを表す信号を出力する。なお、ブラシレスモータ11は操舵ハンドル12と連動して回転するものであるので、前記角速度 $\omega$ は操舵ハンドル12の操舵速度に対応する。

【0019】係数発生部32は、係数 $K_p$ として異なる2つ値 $K_{p0}$ ,  $K_{p1}$ ( $K_{p0} > K_{p1}$ )を記憶しているとともに、係数 $K_i$ として異なる2つ値 $K_{i0}$ ,  $K_{i1}$ ( $K_{i0} > K_{i1}$ )を記憶しており、感応領域判定部31により車両の走行状態が感応領域に属すると判定された場合には、係数 $K_p$ ,  $K_i$ として $K_{p1}$ ,  $K_{i1}$ を比例積分制御部27, 28にそれぞれ供給する。また、感応領域判定部31により車両の走行状態が感応領域に属しないと判定された場合には、係数 $K_p$ ,  $K_i$ として $K_{p0}$ ,  $K_{i0}$ を比例積分制御部27, 28にそれぞれ供給する。

【0020】d軸及びq軸指令電圧 $V_{d*}$ ,  $V_{q*}$ は、非干渉制御補正值計算部33及び演算部34, 35により、d軸及びq軸補正指令電圧 $V_{d*}'$ ,  $V_{q*}'$ に補正されて2相/3相座標変換部36に供給される。非干渉制御補正值計算部33は、d軸及びq軸検出電流 $I_d$ ,  $I_q$ 及び回転子の角速度 $\omega$ に基づいて、d軸及びq軸指令電圧 $V_{d*}$ ,  $V_{q*}$ のための非干渉制御補正值 $\omega \cdot L_a \cdot I_q$ ,  $-\omega \cdot (\phi_a + L_a \cdot I_d)$ を計算する。なお、前記インダクタンス $L_a$ 及び磁束 $\phi_a$ は、予め決められた定数である。演算部34, 35は、d軸及びq軸指令電圧 $V_{d*}$ ,  $V_{q*}$ から非

干渉制御補正值 $\omega \cdot L_a \cdot I_q$ ,  $-\omega \cdot (\phi_a + L_a \cdot I_d)$ をそれぞれ減算することにより、d軸及びq軸補正指令電圧 $V_{d*}' = V_{d*} - \omega \cdot L_a \cdot I_q$ ,  $V_{q*}' = V_{q*} + \omega \cdot (\phi_a + L_a \cdot I_d)$ を算出して、2相/3相座標変換部36に供給する。

【0021】2相/3相座標変換部36は、d軸及びq軸補正指令電圧 $V_{d*}'$ ,  $V_{q*}'$ を3相指令電圧 $V_{u*}$ ,  $V_{v*}$ ,  $V_{w*}$ に変換して、同変換した3相指令電圧 $V_{u*}$ ,  $V_{v*}$ ,  $V_{w*}$ をPWM電圧発生部37に供給する。PWM電圧発生部37は、3相指令電圧 $V_{u*}$ ,  $V_{v*}$ ,  $V_{w*}$ に対応したPWM制御電圧信号 $UU$ ,  $VU$ ,  $WU$ をインバータ回路38に出力する。インバータ回路38は、前記PWM制御電圧信号 $UU$ ,  $VU$ ,  $WU$ に対応した3相の励磁電圧信号 $V_u$ ,  $V_v$ ,  $V_w$ を発生して、同励磁電圧信号 $V_u$ ,  $V_v$ ,  $V_w$ を3相の励磁電流路を介してブラシレスモータ11にそれぞれ供給する。3相の励磁電流路のうちの2つには電流センサ41, 42が設けられ、各電流センサ41, 42は、ブラシレスモータ11に対する3相の励磁電流 $I_u$ ,  $I_v$ ,  $I_w$ のうちの2つの励磁電流 $I_u$ ,  $I_w$ を検出して2相/2相座標変換部43に出力する。この2相/2相座標変換部43には、演算部44にて前記検出励磁電流 $I_u$ ,  $I_w$ に基づいて計算された励磁電流 $I_v$ も供給されている。2相/2相座標変換部43は、これらの3相検出励磁電流 $I_u$ ,  $I_v$ ,  $I_w$ を2相のd軸及びq軸検出電流 $I_d$ ,  $I_q$ に変換する。

【0022】また、回転角センサ16からの2相パルス列信号及び零相パルス列信号は、所定のサンプリング周期で電気角変換部45に連続的に供給されている。電気角変換部45は、前記各パルス列信号に基づいてブラシレスモータ11における回転子の固定子に対する電気角 $\theta$ を計算して、前記計算された電気角 $\theta$ を角速度変換部46に供給する。角速度変換部46は、電気角 $\theta$ を微分して回転子の固定子に対する角速度 $\omega$ を計算する。なお、角速度 $\omega$ は、正により回転子の正方向の回転を表し、負により回転子の負方向の回転を表しているものとする。また、電気角変換部45にて計算される電気角 $\theta$ はサンプリング周期及び回転角センサ16の分解能による誤差を含むので、角速度変換部46にて計算された角速度 $\omega$ を用いて前記両誤差を補正するようにしてもよい。

【0023】上記構成の電気制御装置は、各種センサ14, 16, 17, 41, 42及びインバータ回路38を除いて電子回路ユニット内に収められており、同ユニット内の回路をデジタル処理を行うハード回路で構成してもよいが、本実施形態においてはマイクロコンピュータ装置により構成されている。そして、電子回路ユニット内の各部21~28, 31~37, 43~46は、プログラム処理により各機能が実現されるようになっている。したがって、各種センサ14, 16, 17, 41, 42からの検出信号は、所定のサンプリングレート(サ

ンプリング周期)でサンプリングされた検出値の形で前記電子回路ユニットの各部に入力されることになる。

【0024】次に、上記のように構成した第1実施形態の動作について説明する。運転者が操舵ハンドル12を回動操作すると、この回動操作はタイロッド13に伝達されて同ロッド13の軸線方向の移動により前輪が操舵される。これと同時に、操舵トルクセンサ15は操舵軸14に付与される操舵トルクを検出し、ブラシレスモータ11が電気制御装置によりサーボ制御されて前記操舵トルクに応じたアシストトルクでタイロッド13を駆動するので、前輪はブラシレスモータ11の駆動力によりアシストされながら操舵される。

【0025】この電気制御装置によるサーボ制御においては、基本アシスト力計算部21、戻し力計算部22及び演算部23が、前記検出操舵トルク、車速 $v$ 、回転子の電気角 $\theta$ 及び角速度 $\omega$ に基づいて指令トルク $T^*$ を計算するとともに、指令電流決定部24がこの指令トルク $T^*$ 及びその他の各種センサ値に基づいて $d$ 軸及び $q$ 軸指令電流 $I_d^*$ 、 $I_q^*$ を決定する。そして、演算部25、26、比例積分制御部27、28、2相/3相座標変換部36、PWM電圧発生部37及びインバータ回路38が、電流センサ41、42、3相/2相座標変換部43及び演算部44によってフィードバックされた $d$ 軸及び $q$ 軸検出電流 $I_d$ 、 $I_q$ を用いて、両検出電流 $I_d$ 、 $I_q$ が両指令電流 $I_d^*$ 、 $I_q^*$ に等しくなるように、すなわちブラシレスモータ11が指令トルク $T^*$ (指令トルク $T^*$ が各種センサ値によって補正されている場合には同補正されたトルク)に等しいトルクで回転するようにブラシレスモータ11を制御する。この場合、非干渉制御補正值計算部33及び演算部34、35は、 $d$ 、 $q$ 軸間で干渉し合う速度起電力を打ち消すために比例積分制御部27、28からの $d$ 軸及び $q$ 軸指令電圧 $V_d^*$ 、 $V_q^*$ を補正する。

【0026】このようなサーボ制御中、比例積分制御部27、28は、演算部25、26からの差分値 $\Delta I_d$ 、 $\Delta I_q$ 及び係数発生部32からの係数 $K_p$ 、 $K_i$ を用いた上記数1、2の演算の実行により、指令電圧 $V_d^*$ 、 $V_q^*$ を計算する。一方、感応領域判定部31では、車両の走行状態が感応領域に属しているか否かが車速 $v$ 及び角速度 $\omega$ (操舵速度)に基づいて判定され、この判定結果にしたがって、係数発生部32が前記演算に利用される係数 $K_p$ 、 $K_i$ を比例積分制御部27、28に供給する。この場合、車両の走行状態が感応領域に属する場合には値 $K_{p1}$ 、 $K_{i1}$ が係数 $K_p$ 、 $K_i$ としてそれぞれ供給され、車両の走行状態が感応領域に属さない場合には値 $K_{p0}$ 、 $K_{i0}$ が係数 $K_p$ 、 $K_i$ として供給される。これらの値 $K_{p1}$ 、 $K_{i1}$ 、 $K_{p0}$ 、 $K_{i0}$ は、 $K_{p0} > K_{p1}$ 及び $K_{i0} > K_{i1}$ の各関係にある。

【0027】したがって、車両の走行状態が感応領域に属する場合には、ブラシレスモータ11に対する制御ゲ

インが低く設定されることになり、高周波ノイズなどの外乱に起因したブラシレスモータ11によるアシストトルクの変動が小さくなるので、同感応領域では運転者の操舵フィーリングが良好となる。また、車両の走行状態が感応領域に属さない場合には、ブラシレスモータ11に対する制御ゲインが高く設定されることになり、指令トルク $T^*$ に対するブラシレスモータ11の追従性が良好になる。

【0028】なお、上記第1実施形態においては、ブラシレスモータ11に対する制御ゲインを感応領域とそれ以外の領域とで2種類に切り換え制御するようにしたが、この操舵フィーリングを最も鋭敏に感じる領域、同フィーリングを鋭敏に感じる領域、それ以外の領域などのように、3種類以上の領域を判定するようにして、前記制御ゲインを3種類以上に切り換えるようにしてもよい。この場合、図2に破線で示すように前記感応領域の外側に複数の領域を設け、操舵フィーリングを鋭敏に感じ易い領域に向かうにしたがって前記制御ゲインが小さくなるようにすればよい。

#### 【0029】b. 第2実施形態

次に、本発明の第2実施形態について図面を用いて説明すると、図3は同第2実施形態に係る電動パワーステアリング装置を概略的に示している。

【0030】この第2実施形態においては、上記第1実施形態における係数発生部32を削除して、感応領域判定部31による判定結果を非干渉制御補正值計算部33に導くようにしている。非干渉制御補正值計算部33は、感応領域判定部31による判定結果に基づいて、 $d$ 軸及び $q$ 軸用の非干渉制御補正值 $\omega \cdot L_a \cdot I_q$ 、 $-\omega \cdot (\phi_a + L_a \cdot I_d)$ を比例積分制御部27、28からの $d$ 軸及び $q$ 軸指令電圧 $V_d^*$ 、 $V_q^*$ に加味するか否かを制御する。なお、この場合、比例積分制御部27、28における $d$ 軸及び $q$ 軸指令電圧 $V_d^*$ 、 $V_q^*$ の計算における係数 $K_p$ 、 $K_i$ は、予め決められた定数である。

【0031】具体的には、車両の走行状態が感応領域に属する場合には、非干渉制御補正值計算部33による $d$ 軸及び $q$ 軸用の非干渉制御補正值 $\omega \cdot L_a \cdot I_q$ 、 $-\omega \cdot (\phi_a + L_a \cdot I_d)$ の計算を禁止して、前記2つの非干渉制御補正值を「0」、 $0$ に設定する。これにより、2相/3相座標変換部36に供給される $d$ 軸及び $q$ 軸補正指令電圧 $V_d^{*'}$ 、 $V_q^{*'}$ は、 $d$ 軸及び $q$ 軸指令電圧 $V_d^*$ 、 $V_q^*$ に等しく、下記数3、4により表されたものとなる。なお、実際には、演算部34、35による減算処理も不要となる。

【0032】

$$\text{【数3】 } V_d^{*'} = V_d^* - K_p \cdot \Delta I_d + K_i \cdot \int \Delta I_d dt$$

【0033】

$$\text{【数4】 } V_q^{*'} = V_q^* - K_p \cdot \Delta I_q + K_i \cdot \int \Delta I_q dt$$

【0034】一方、車両の走行状態が感応領域に属さない場合には、非干渉制御補正值計算部33にて $d$ 軸及び

q軸用の非干渉制御補正值 $\omega \cdot L_a \cdot I_q$ ,  $-\omega \cdot (\phi_a + L_a \cdot I_d)$ がそれぞれ計算され、演算部34, 35にて比例積分制御部27, 28からのd軸及びq軸指令電圧 $V_d^*$ ,  $V_q^*$ にそれぞれ加味される。これにより、2相/3相座標変換部36に供給されるd軸及びq軸補正指令電圧 $V_d^*$ ,  $V_q^*$ は、下記数5, 6により表されたものとなる。

【0035】

【数5】

$$V_d^* = V_d^* - \omega \cdot L_a \cdot I_q$$

$$= -K_p \cdot \Delta I_d + K_i \cdot \int \Delta I_d dt - \omega \cdot L_a \cdot I_q$$

【0036】

【数6】

$$V_q^* = V_q^* + \omega \cdot (\phi_a + L_a \cdot I_d)$$

$$= -K_p \cdot \Delta I_q + K_i \cdot \int \Delta I_q dt + \omega \cdot (\phi_a + L_a \cdot I_d)$$

【0037】このように、この第2実施形態においては、車両の走行状態が感応領域に属する場合には、非干渉制御補正值 $\omega \cdot L_a \cdot I_q$ ,  $-\omega \cdot (\phi_a + L_a \cdot I_d)$ を含めずにブラシレスモータ11を制御することになる。また、車両の走行状態が感応領域に属さない場合には、非干渉制御補正值 $\omega \cdot L_a \cdot I_q$ ,  $-\omega \cdot (\phi_a + L_a \cdot I_d)$ を含めてブラシレスモータ11を制御することになる。

【0038】ところで、電気角 $\theta$ がほぼ「0」に近くてその絶対値 $|\theta|$ が小さい場合には、回転角センサ16の分解能及びサンプリング周期による誤差、電気角 $\theta$ が「0」近傍を微小変動するなどの理由により、電気角 $\theta$ が大きな誤差を含む場合があると同時に、電気角 $\theta$ を微分して求められる角速度 $\omega$ も大きな誤差を含む場合がある。一方、非干渉制御補正值 $\omega \cdot L_a \cdot I_q$ ,  $-\omega \cdot (\phi_a + L_a \cdot I_d)$ の計算においてはブラシレスモータ11の角速度 $\omega$ が用いられており、前述のように、電気角 $\theta$ 及び角速度 $\omega$ に大きな誤差を含むと、非干渉制御補正值 $\omega \cdot L_a \cdot I_q$ ,  $-\omega \cdot (\phi_a + L_a \cdot I_d)$ が外乱となり、非干渉制御補正值 $\omega \cdot L_a \cdot I_q$ ,  $-\omega \cdot (\phi_a + L_a \cdot I_d)$ を含むd軸及びq軸補正指令電圧 $V_d^*$ ,  $V_q^*$ がハンチングを起こしたり、安定しなかったりする場合がある。

【0039】その結果、この第2実施形態によれば、車両の走行状態が感応領域に属する場合には、前述のように非干渉制御補正值 $\omega \cdot L_a \cdot I_q$ ,  $-\omega \cdot (\phi_a + L_a \cdot I_d)$ を含めずにブラシレスモータ11を制御するので、前記d軸及びq軸補正指令電圧 $V_d^*$ ,  $V_q^*$ のハンチング及び不安定に起因した操舵フィーリングの悪化を回避できる。さらに、この場合には、非干渉制御補正值 $\omega \cdot L_a \cdot I_q$ ,  $-\omega \cdot (\phi_a + L_a \cdot I_d)$ に関係した演算が不要になるので、演算効率を高めることができる。また、車両の走行状態が感応領域に属さない場合には、前述のように非干渉制御補正值 $\omega \cdot L_a \cdot I_q$ ,  $-\omega \cdot (\phi_a + L_a \cdot I_d)$ を含めてブラシレスモータ11を制御するので、指令トルク $T^*$ (d軸及びq軸補正指令電流 $I_d^*$ ,  $I_q^*$ , d軸及びq軸指令電圧 $V_d^*$ ,  $V_q^*$ )に対するブラシレスモータ

11の追従性を良好にできる。

【0040】なお、上記第2実施形態においては、比例積分制御部27, 28における演算に利用される係数 $K_p$ ,  $K_i$ は定数としたが、上記第1実施形態の場合と同様に、車両の走行状態が感応領域に属する場合と、それ以外の場合とで、前記係数 $K_p$ ,  $K_i$ を異ならせるようにしてもよい。この場合、上記第1実施形態の係数発生部32にて決定された係数 $K_p$ ,  $K_i$ を比例積分制御部27, 28に供給するようにすればよい。

【0041】c. 第3実施形態

次に、本発明の第3実施形態について図面を用いて説明すると、図4は同第3実施形態に係る電動パワーステアリング装置を概略的に示している。

【0042】この第3実施形態においては、上記第1実施形態における係数発生部32に代えて脈動トルク補正值計算部47が設けられており、同計算部47は感応領域判定部31による判定結果に応じて脈動トルク補正值 $I_{qr}$ を計算する。この脈動トルク補正值 $I_{qr}$ は演算部48に供給され、同演算部48は指令電流決定部24からのq軸指令電流 $I_q^*$ から前記脈動トルク補正值 $I_{qr}$ を減算することによりq軸指令電流 $I_q^*$ を補正して演算部26に供給する。なお、この場合、比例積分制御部27, 28におけるd軸及びq軸指令電圧 $V_d^*$ ,  $V_q^*$ の計算における係数 $K_p$ ,  $K_i$ は、予め決められた定数である。

【0043】脈動トルク補正值計算部47は、前記判定結果に加えて、電気角変換部45からの電気角 $\theta$ 及び3相/2相座標変換部43からのq軸検出電流 $I_q$ を入力し、車両の走行状態が感応領域に属している場合には、脈動トルク補正值 $I_{qr}$ を下記数7の演算の実行により計算する。一方、車両の走行状態が感応領域に属していない場合には、脈動トルク補正值 $I_{qr}$ を「0」に設定する。

【0044】

$$\text{【数7】 } I_{qr} = K_{ro} \cdot F_o(\theta) / K_t + K_{rl} \cdot F_1(\theta) \cdot I_q / K_t - K_{ro} \cdot K_{rl} \cdot F_o(\theta) \cdot F_1(\theta) / K_t^2$$

【0045】前記数7中のトルク係数 $K_t$ 及び脈動トルク係数 $K_{ro}$ ,  $K_{rl}$ は、実験によって求められ、脈動トルク補正值計算部47に予め記憶されている定数である。また、脈動トルク関数 $F_o(\theta)$ ,  $F_1(\theta)$ は実験によって確認され、脈動トルク補正值計算部47内にてテーブル又は関数式の形で定義されるとともに予め記憶されている関数である。

【0046】この脈動トルク補正值 $I_{qr}$ について簡単に説明しておく。脈動トルクには、q軸電流(トルク電流) $I_q$ が「0」の場合における成分(コギングトルク) $K_{ro} \cdot F_o(\theta)$ と、q軸電流 $I_q$ による成分(リップルトルク) $K_{rl} \cdot F_1(\theta) \cdot I_q$ とからなる。ここで、両成分 $K_{ro} \cdot F_o(\theta)$ ,  $K_{rl} \cdot F_1(\theta) \cdot I_q$ を用いると、脈動トルク $\Delta T(\theta)$ は下記数8のように表される。

【0047】

【数8】  $\Delta T(\theta) = K_{ro} \cdot F_o(\theta) + K_{rl} \cdot F_l(\theta) \cdot I_q$   
 【0048】まず、コギングトルク  $K_{ro} \cdot F_o(\theta)$  に対する補償について考えると、出力トルク  $T(\theta)$  は下記数9のように表されるので、トルク電流  $I_q$  の代わりに下記数10で示す電流  $I_{qo}$  を与えることによりコギングトルク  $K_{ro} \cdot F_o(\theta)$  を除去できる。

【0049】

【数9】  $T(\theta) = K_t \cdot I_q + K_{ro} \cdot F_o(\theta)$

【0050】

【数10】  $I_{qo}(\theta) = I_q - K_{ro} \cdot F_o(\theta) / K_t$

【0051】次に、リップルトルク  $K_{rl} \cdot F_l(\theta) \cdot I_q$  を除去することを考える。この場合、出力トルク  $T(\theta)$  は前記電流  $I_{qo}$  を用いて下記数11のように表されるので、電流  $I_{qo}$  の代わりに下記数12で示す電流  $I_{q1}$  を与えることにより、回転子の位置に関係なく脈動トルクを除去できる。

【0052】

【数11】

$T(\theta) = K_t \cdot I_{qo}(\theta) + K_{rl} \cdot F_l(\theta) \cdot I_{qo}(\theta)$

$= K_t \cdot I_{qo}(\theta) \cdot \{1 + K_{rl} \cdot F_l(\theta) / K_t\}$

【0053】

【数12】

$I_{q1}(\theta) = I_{qo}(\theta) / \{1 + K_{rl} \cdot F_l(\theta) / K_t\}$

$= I_{qo}(\theta) \cdot \{1 - K_{rl} \cdot F_l(\theta) / K_t\}$

【0054】そして、この数12に前記数10により示された  $I_{qo}(\theta)$  を代入すれば、下記数13が導かれる。

【0055】

【数13】  $I_{q1}(\theta) = I_q - K_{ro} \cdot F_o(\theta) / K_t - K_{rl} \cdot F_l(\theta) \cdot I_q / K_t + K_{ro} \cdot K_{rl} \cdot F_o(\theta) \cdot F_l(\theta) / K_t^2$

【0056】したがって、指令電流  $I_q^*$  を補正するための脈動トルク補正值として、前記数7に示す脈動トルク補正值  $I_{qr}$  が導かれる。なお、この脈動トルク補正值  $I_{qr}$  に関する詳しい説明は、昭和63年度電気関係学会東海支部連合大会論文「SRモータのトルクリップル改善策」に紹介されている。

【0057】その結果、この第3実施形態によれば、車両の走行状態が感応領域に属する場合には、脈動トルク補正值  $I_{qr}$  を含めてブラシレスモータ11を制御することになり、ブラシレスモータ11による脈動トルクの発生を防止でき、同モータ11によるアシストトルクの変動による操舵フィーリングの悪化を回避できる。一方、車両の走行状態が感応領域に属さない場合には、脈動トルク補正值  $I_{qr}$  を含めないでブラシレスモータ11を制御するので、脈動トルク補正值計算部47は脈動トルク補正值  $I_{qr}$  を演算する必要がなくなる。また、演算部48による演算も実質的に不要となる。したがって、この場合には、脈動トルク補正值  $I_{qr}$  の演算のための時間を節約でき、指令トルク  $T^*$  (指令電流  $I_d^*$ ,  $I_q^*$ ) に対するブラシレスモータ11の追従性を良好にできる。

【0058】なお、この第3実施形態においても、上記

第2実施形態の場合と同様に、比例積分制御部27、28における演算に利用される係数  $K_p$ ,  $K_i$  を定数としたが、上記第1実施形態の場合と同様に、車両の走行状態が感応領域に属する場合と、それ以外の場合とで、前記係数  $K_p$ ,  $K_i$  を異ならせるようにしてもよい。この場合も、上記第1実施形態の係数発生部32にて決定された係数  $K_p$ ,  $K_i$  を比例積分制御部27、28に供給するようにすればよい。

【0059】また、この第3実施形態においては、非干渉制御に関し、車両の走行状態が感応領域に属する場合と属さない場合とで制御態様を区別しなかったが、上記第2実施形態と同様に、車両の走行状態が感応領域に属する場合には非干渉制御補正值による補正を行わずに、同感応領域に属さない場合にのみ非干渉制御補正值による補正を行うようにしてもよい。さらに、要求度に応じて、前記非干渉制御を省略するようにしてもよい。

【0060】d. 第4実施形態

次に、本発明の第4実施形態について図面を用いて説明する。この第4実施形態は上記第3実施形態とはほぼ同様に構成されるが、脈動トルク補正值計算部47における演算内容が同第3実施形態の場合とは異なる。

【0061】この場合、脈動トルク補正值計算部47

は、感応領域判定部31による判定結果と角速度  $\omega$  とに基づいて脈動トルク補正值  $I_{qr}$  を計算する。車両の走行状態が感応領域に属している場合には、角速度  $\omega$  の絶対値  $|\omega|$  が所定の微小値  $\varepsilon$  以上 ( $|\omega| \geq \varepsilon$ ) であれば、脈動トルク補正值  $I_{qr}$  は下記数14の演算の実行により計算される。

【0062】

【数14】  $I_{qr} = -a \cdot \text{sign}(\omega)$

【0063】ただし、前記数14において、 $a$  は正の定数であり、 $\text{sign}(\omega)$  は、角速度  $\omega$  が正のとき「+1」となり、負のとき「-1」となる関数である。また、車両の走行状態が感応領域に属している場合であっても、角速度  $\omega$  の絶対値  $|\omega|$  が所定の微小値  $\varepsilon$  未満 ( $|\omega| < \varepsilon$ ) であれば、脈動トルク補正值  $I_{qr}$  は「0」に設定される。これは、角速度  $\omega$  の絶対値  $|\omega|$  が「0」近傍の小さな値となるときには、角速度  $\omega$  が「0」を中心に変動して前記脈動トルク補正值  $I_{qr}$  がハンチングを起こすことがあり、これを回避するためである。

【0064】一方、車両の走行状態が感応領域に属していない場合には、脈動トルク補正值  $I_{qr}$  は「0」に設定される。

【0065】したがって、この第4実施形態においては、操舵ハンドル12が回動操作されている状態で、車両の走行状態が感応領域に属している場合には、指令電流決定部24から出力された指令電流  $I_q^*$  は、演算部48にて  $I_{q^*} - I_{qr}$  ( $= I_{q^*} + a \cdot \text{sign}(\omega)$ ) に補正されて演算部26に供給される。ところで、この種の制御にあつては、 $a \cdot \text{sign}(\omega)$  で補正を加えているが、この補正



はステアリング系の摩擦を補償するために実行している。これにより、操舵時に発生する引きずるような摩擦力を運転者が感じ難くなるため、操舵フィーリングの悪化を防止できる。一方、車両の走行状態が感応領域に属さない場合又は操舵ハンドル12が保舵されている場合には、脈動トルク補正值  $I_{qr}$  を含まないでブラシレスモータ11を制御するので、脈動トルク補正值計算部47は脈動トルク補正值  $I_{qr}$  を演算する必要がなくなる。また、演算部48による演算も実質的に不要となる。したがって、この場合には、脈動トルク補正值  $I_{qr}$  の演算のための時間を節約でき、指令トルク  $T^*$  (指令電流  $I_d^*$ ,  $I_q^*$ ) に対するブラシレスモータ11の追従性を良好にできる。

【0066】なお、この第4実施形態においても、上記第1実施形態の場合と同様に、車両の走行状態が感応領域に属する場合と、それ以外の場合とで、前記係数  $K_p$ ,  $K_i$  を異ならせるようにしてもよい。また、非干渉制御に関しても、上記第2実施形態と同様に、車両の走行状態が感応領域に属する場合と属さない場合とで、非干渉制御補正值による補正の有無を切替えるようにしてもよい。さらに、この場合も、要求度に応じて、前記非干

渉制御を省略するようにしてもよい。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1実施形態に係る電動パワーステアリング装置の概略図である。

【図2】 感応領域とそれ以外の領域を説明するための説明図である。

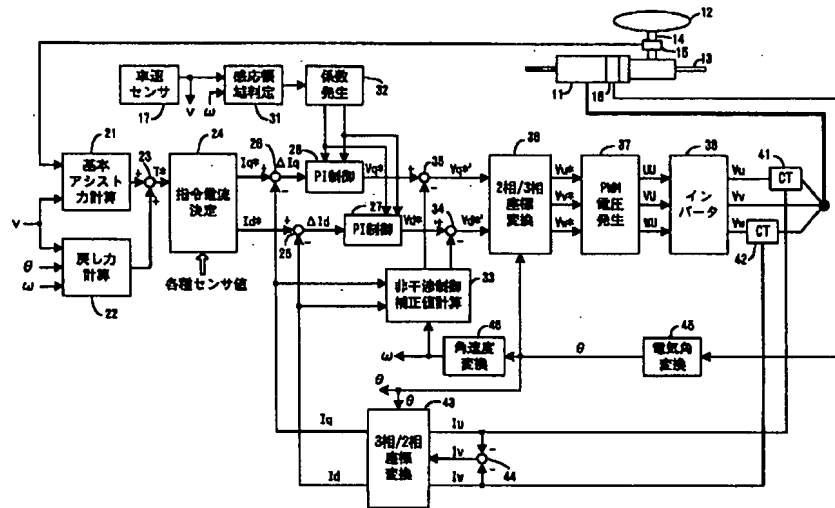
【図3】 本発明の第2実施形態に係る電動パワーステアリング装置の概略図である。

【図4】 本発明の第3, 4実施形態に係る電動パワーステアリング装置の概略図である。

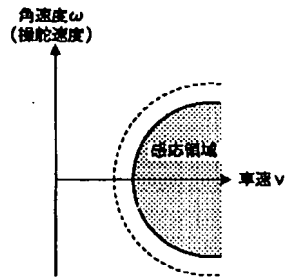
【符号の説明】

11…ブラシレスモータ、12…操舵ハンドル、15…操舵トルクセンサ、16…回転角センサ、17…車速センサ、24…指令電流決定部、27, 28…比例積分制御部 (PI制御部)、31…感応領域判定部、32…係数発生部、33…非干渉制御補正值計算部、36…2相/3相座標変換部、37…PWM電圧発生部、38…インバータ回路、41, 42…電流センサ、43…3相/2相座標変換部、45…電気角変換部、46…角速度変換部、47…脈動トルク補正值計算部、48…演算部。

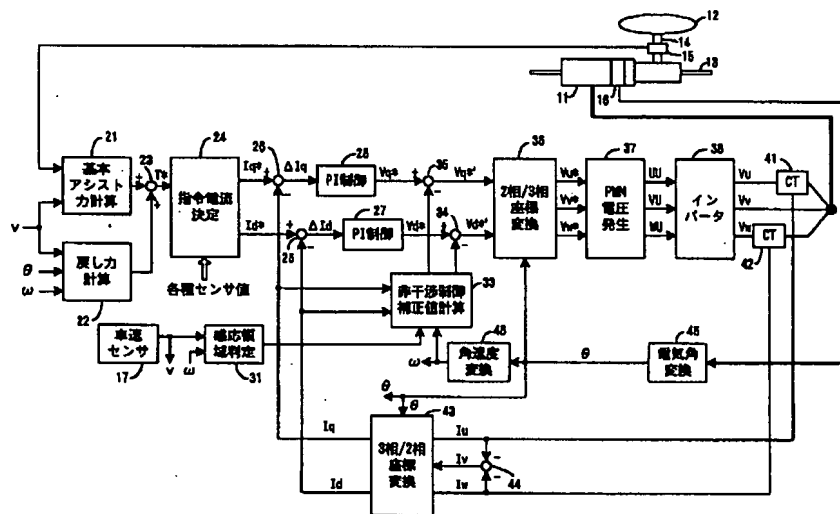
【図1】

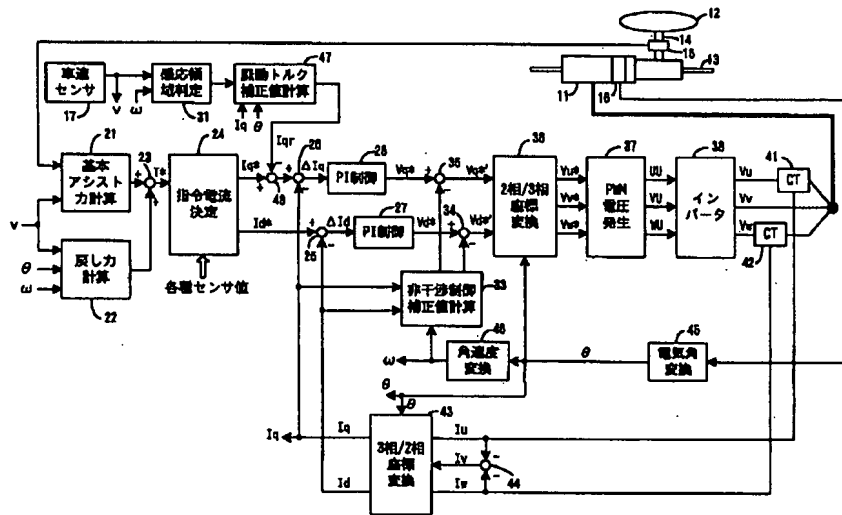


【図2】



【図3】





Fターム(参考) 3D032 CC08 DA09 DA15 DA23 DA63  
DA64 DB02 DC01 DC02 DC03  
DC08 DC09 DC29 DC34 DC35  
DD06 DD10 DD17 EA01 EB11  
EC23 GG01  
3D033 CA03 CA13 CA16 CA17 CA19  
CA20 CA21